

Ringonderzoek sonderen

Ing. L. Tiggelman
GeoDelft

Ir. H.J. Beukema
Rijkswaterstaat,
Dienst Weg- en Waterbouwkunde

SAMENVATTING

In de praktijk is meermalen gebleken dat er een aanzienlijke spreiding in conusweerstand en plaatselijke mantelwrijving kan optreden tussen de verschillende sondeerbedrijven. Om dit effect te kwantificeren, hebben 11 Nederlandse bedrijven deelgenomen aan een ringonderzoek. De spreiding blijkt inderdaad aanzienlijk te zijn, maar wel binnen de bandbreedte van NEN 5104 - klasse 2 te vallen. Nagegaan is wat de oorzaken van de spreiding zijn en wat de gevolgen zijn voor de classificatie van de ondergrond. Klei en humeuze klei onderscheiden en de korrelgrootte van pleistoceen zand bepalen op basis van het wrijvingsgetal, blijkt lastig. Aanbevolen wordt om bij classificatie altijd een boring uit te voeren en bij de inkoop van sondeerwerk de specificatie afhankelijk te maken van het beoogde gebruik van de sondering.

INLEIDING

De sondering is in Nederland de meest gebruikte onderzoeksmethode om de ondergrond in kaart te brengen. De laatste decennia is de sondering uitgegroeid tot een snelle, relatief goedkope standaard onderzoeksmethode voor de Nederlandse adviespraktijk. Steeds vaker wordt de classificatie van de ondergrond hoofdzakelijk gebaseerd op het wrijvingsgetal. Een verkeerde of onjuiste classificatie kan in het verdere adviestraject echter leiden tot verkeerde aannamen met soms grote gevolgen. Bij een aantal bedrijven uit de sondeer- en adviesbranche is het vermoeden ontstaan dat er tussen verschillende sondeerbedrijven een behoorlijke spreiding optreedt in de gemeten plaatselijke mantelwrijving en daarmee in het gepresenteerde wrijvingsgetal. Om dit als sondeerbranche breed op te pakken, is eind december 2003, mede op initiatief van A.P. van den Berg Machinefabriek, onder leiding van CUR een aantal bedrijven bijeen gekomen om over dit vermoeden verder te discussiëren. De ervaringen werden breed onderschreven en een groot aantal sondeerbedrijven (zie kader 1) heeft gezamenlijk besloten om dit in CUR-commissie C140 nader te onderzoeken.

DOELEN

Hoe groot zijn nu eigenlijk de verschillen tussen sonderingen, gemaakt door verschillende sondeerbedrijven, onder vergelijkbare omstandigheden en in dezelfde grondslag? Om dit te onderzoeken is in Almere een ringonderzoek sonderen uitgevoerd. Doel van het ringonderzoek is om vast te stellen hoe groot de spreiding in meetwaarden in de praktijk is en wat de oorzaken kunnen zijn die de spreiding veroorzaken.

Daarnaast is onderzocht wat de consequenties van de spreiding zijn bij het gebruik van de sondering in het adviestraject. Drie veel gebruikte toepassingen van de sondering zijn daarom nader onderzocht:

- 1) Het schatten van de korrelgrootte van de zandlagen op basis van het wrijvingsgetal.
- 2) Het berekenen van de zettingen op basis van het wrijvingsgetal.
- 3) Het berekenen van het paal draagvermogen op basis van de conusweerstand.

UITVOERING RINGONDERZOEK

Het ringonderzoek is uitgevoerd nabij Almere, waarbij bij de keuze van de locatie vooral is gekeken naar de homogeniteit van de ondergrond en de beschikbaarheid van het terrein. In kader 2 worden de bijzonderheden beschreven

van de onderzoekslocatie en de wijze van uitvoering van het onderzoek. Eén van de sonderingen van de onderzoekslocatie en de uitgevoerde Begemann-boring is gepresenteerd in *figuur 1*.

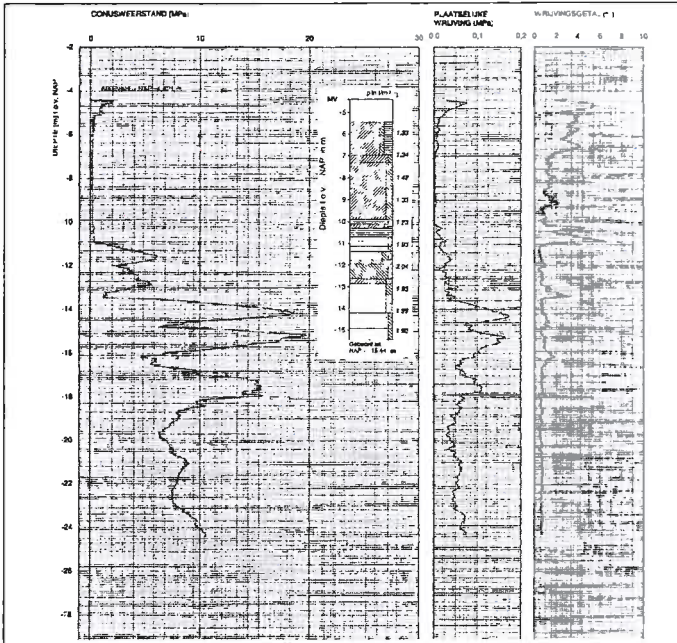
BEVINDINGEN RINGONDERZOEK

Alle 11 sondeergrafieken van deelgebied 3 zijn gepresenteerd in de *figuren 2 en 3*. In deze figuren is een traject van de holocene lagen en het pleistocene zand uitvergroot, zodat de spreiding in de meetwaarden en het wrijvingsgetal

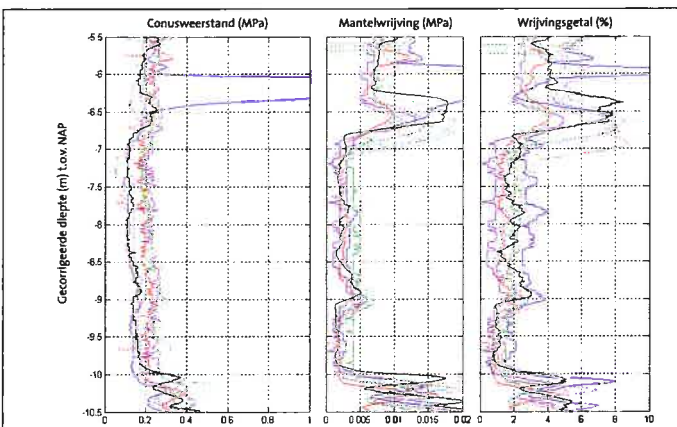
DEELNEMENDE SONDEERBEDRIJVEN

- Van Dijk Geo- en Milieutechniek
- Gemeentewerken Rotterdam
- GeoDelft
- Van der Helm
- Inpijn-Blokpoel Ingenieursbureau
- Lankelma Ingenieursbureau
- Mos Grondmechanica
- Tjaden Grondmechanica
- De Ruiter Boringen en Bemalingen
- Wiertsema & Partners Raadgevend Ingenieurs
- IJsselmeerbeton, IJB groep

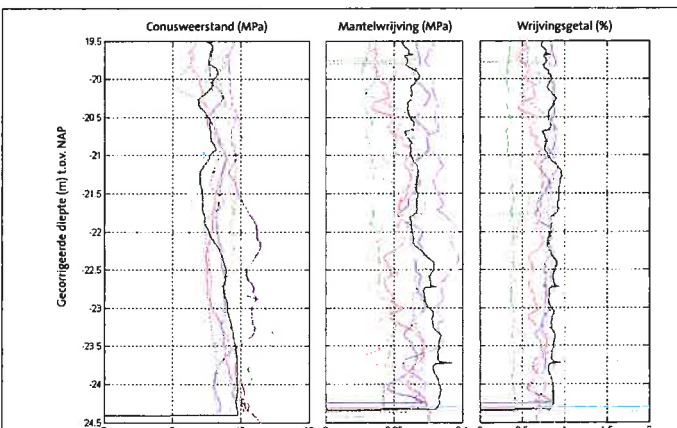
↑ Kader 1 Deelnemende sondeerbedrijven



↑ **Figuur1** Representatieve sondering en boring



↑ **Figuur2** Uitvergroting van het gebied met slappe holocene lagen



↑ **Figuur3** Uitvergroting van het gebied met pleistoecen zand

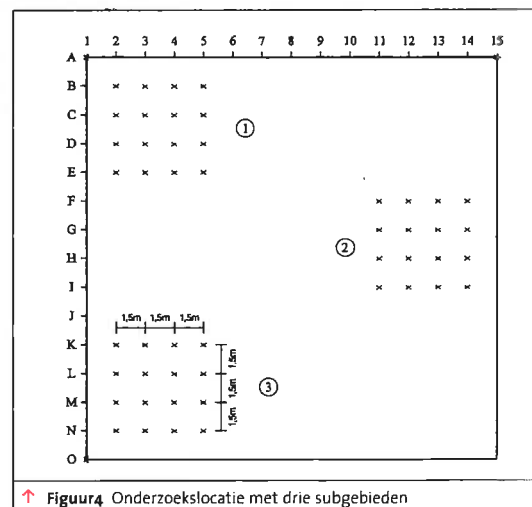
RINGONDERZOEK

De werkgroep was op zoek naar een locatie met een slap holocene pakket met daaronder pleistoecen zand. Bij een lage conusweerstand komen verschillen in de wrijvingsweerstand namelijk duidelijk naar voren als verschillen in het wrijvingsgetal. In het landelijke gebied van het Flevo-landschap is ten noorden van Almere-Stad een geschikte, toegankelijke onderzoekslocatie gevonden met een dik, zeer slap holocene pakket. Dit holocene pakket bestaat uit een redelijk homogene humeuze kleilaag met daaronder een kleilaag. Daartussen bevinden zich mengvormen van beide grondsoorten. Daaronder begint op een diepte van 5 à 6 m onder maaiveld het pleistoecene zand, zie *figuur 1* voor één van de gemaakte sonderingen en voor het resultaat van de boring.

Op de onderzoekslocatie is een vierkant uitgezet, dat is opgedeeld in een raster met drie subgebieden, zie *figuur 4*. Elke deelnemer heeft per deelgebied één sondering gemaakt tot 15 m beneden maaiveld met meting van de conusweerstand en de plaatselijke mantelwrijving. De deelnemers hebben hiervoor drie coördinaten met bijbehorende maaiveldhoogten gekregen, welke in het veld zijn aangegeven met piketten. Daarnaast is voor een juiste classificatie van de grondlagen een Begemann-boring met een diameter van 29 mm uitgevoerd in het centrum van de onderzoekslocatie.

Elk bedrijf heeft een week de tijd gekregen voor de uitvoering van de sonderingen. De sonderingen zijn uitgevoerd conform NEN 5140 en volgens de normale geldende bedrijfsprocedure van elke deelnemer. Hierbij is nadrukkelijk gevraagd of alle deelnemers geen speciale aandacht willen besteden aan de uitvoering en verwerking van de meetgegevens. De sondering dient een zo realistisch mogelijk beeld te geven van een sondering in de dagelijkse praktijk.

Elk bedrijf heeft zijn eigen meetgegevens verwerkt tot GEF-analysen bestanden. Dit bestand per sondering is het digitale eindresultaat van een sondering dat in projecten naar een opdrachtgever wordt verstuurd. De bestanden zijn door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat geanonimiseerd en zijn vervolgens voor de drie deelgebieden gezamenlijk gepresenteerd.



↑ **Figuur4** Onderzoekslocatie met drie subgebieden

↑ **Kader2** Ringonderzoek

beter zichtbaar wordt. Op basis van de gehele verzameling sondeergrafieken kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- In het holocene pakket varieert de conusweerstand ongeveer een factor 2 tot 3 en het wrijvingsgetal een factor 2 tot 5. Eén van de deelnemende bedrijven presenteert aanmerkelijk hogere meetwaarden van de plaatselijke mantelwrijving in het holocene pakket dan de overige bedrijven. Hierdoor is het wrijvingsgetal ongeveer een factor 3 hoger dan het gemiddelde van de overige bedrijven.
- In het pleistocene zand varieert de conusweerstand gemiddeld een factor 3 tot 4 en het wrijvingsgetal een factor 2 tot 3.

STATISTISCHE ANALYSE MEETRESULTATEN

Het ringonderzoek toont aan dat er een aanzienlijke spreiding optreedt in de meetwaarden van de uitgevoerde sonderingen. Zijn er oorzaken aan te geven waardoor de spreiding optreedt? Om deze vraag te beantwoorden, is een statistische analyse op de totale spreiding van de meetwaarden uitgevoerd. De opzet en omvang van het veldonderzoek is zodanig gekozen dat dit verantwoord is. In *kader 3* worden opzet en uitgangspunten van het statistisch onderzoek verder toegelicht.

In de statistische analyse zijn de belangrijkste bronnen van spreiding onder te verdelen naar:

- Heterogeniteit van de ondergrond: horizontale en verticale variatie van de grondslag;
- Bedrijfseffect: verstoring van de meetwaarde door de inzet van de verschillende bedrijven;
- Herhaalbaarheid: verstoring van de meetwaarde als gevolg van variatie in het sondeerproces.

De variatie van de sonderingen en de gevolgen hiervan voor de spreiding van het wrijvingsgetal is in de *figuren 5 t/m 8* weergegeven als 90% betrouwbaarheidsinterval. Ter illustratie

STATISTISCH ONDERZOEK

Bij elke sondering worden de volgende drie parameters elke 0,02 m in de diepte bepaald:

- De direct gemeten conusweerstand q_c ;
- De direct gemeten wrijvingsweerstand f_s ;
- Het geconstrueerde wrijvingsgetal R_p , gedefinieerd als de wrijvingsweerstand gedeeld door de conusweerstand.

Het onderscheidend vermogen voor de meeste toepassingen van sondeergrafieken is echter minder hoog. In de praktijk wordt een laagdikte van minimaal 0,2 m aangehouden om verschillende eigenschappen aan toe te kennen. Om ook voor de statistische analyse de interne variatie binnen deze 0,2 m te verwaarlozen, zijn de 10 meetwaarden waaruit elke 0,2 m is opgebouwd, gemiddeld. Dit gemiddelde wordt beschouwd als de "meetwaarde" voor dit interval van 0,2 m.

Vervolgens is op basis van de Begemann-boring binnen de humeuze kleilaag, de kleilaag en het pleistocene zand, een diepte-interval van 1 m geselecteerd, waarbinnen de grondsoort constant kan worden verondersteld over het gehele onderzoeksgebied:

- Van NAP -5,5 tot -6,5 m alleen humeuze klei;
- Van NAP -8,0 tot -9,0 m alleen klei;
- Van NAP -14,5 tot -15,5 m alleen pleistoceen zand.

Per grondsoort zijn dus 3 (deelgebieden) x 11 (bedrijven) x 5 (intervallen) = 165 metingen uitgevoerd.

De opzet en omvang van het veldonderzoek is zodanig gekozen dat het mogelijk is om de totale spreiding in meetwaarden middels een statistische analyse grofweg te kunnen onderverdelen naar de belangrijkste bronnen van deze spreiding:

1. Heterogeniteit van de ondergrond

Dit is de horizontale en verticale variatie van de grondslag en is daarmee de eigenlijke meting waarin men is geïnteresseerd. De heterogeniteit in het holocene pakket van de onderzoekslocatie is bijzonder klein, waardoor de volgende twee spreidingsbronnen versterkt naar voren komen:

2. Bedrijfseffect

Dit is de verstoring van de meetwaarde die ontstaat door de inzet van de verschillende bedrijven, elk met hun eigen conussen, apparatuur, personeel en uitwerkingsprocedures;

3. Herhaalbaarheid

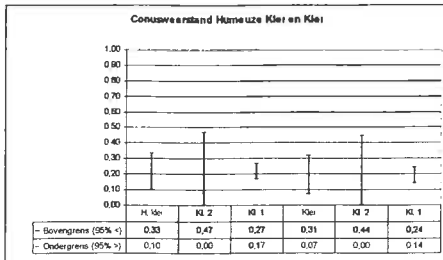
Dit is de verstoring van de meetwaarde als gevolg van variatie in het sondeerproces als zodanig. Een sondering is een destructieve meting. Daarom zal een andere meting op (bijna) dezelfde locatie, uitgevoerd door hetzelfde bedrijf, personeel etc. toch altijd een andere meetwaarde blijven opleveren.

De metingen van de drie grondsoorten zijn met behulp van een variatieanalyse methode afzonderlijk geanalyseerd, omdat wordt verwacht dat de genoemde effecten afhangen van de grondsoort. Het onderzoek is verder te beperkt van omvang om verder te kunnen differentiëren naar andere oorzaken van verschillen, als type conus, conversieapparatuur of bewerkingen naar GEF-bestanden.

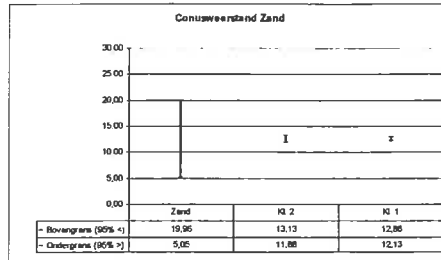
↑ *Kader 3* Statistisch onderzoek

Sondering 'paars'		Sondering 'geel'		Boring	
Diepte (m NAP)	Grondsoort	Diepte (m NAP)	Grondsoort	Diepte (m NAP)	Grondsoort
-4,4	MV	-4,4	MV	-4,4	MV
-5,4	Toplaag	-5,4	Toplaag	-5,4	Toplaag
-6,8	Klei	-9,3	Veen	-9,9	Klei
-8,7	Zand	-10,1	Klei	-10,1	Veen
-9,1	Klei	-10,7	Veen	-10,3	Klei
-10,0	Zand			-10,7	Veen
-10,7	Klei				

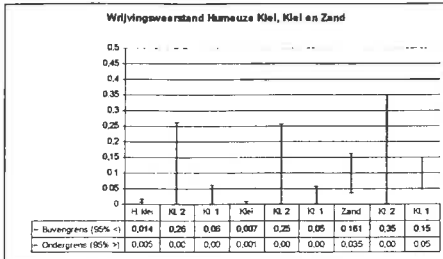
↑ *Tabel 1* Bodemprofielen



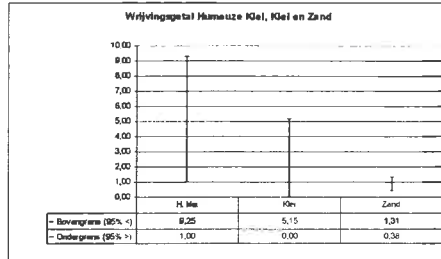
↑ **Figuur 5** 90% betrouwbaarheidsinterval voor de conusweerstand van de holocene lagen met de bandbreedte van de klassen 1 en 2 uit NEN 5140



↑ **Figuur 6** 90% betrouwbaarheidsinterval voor de conusweerstand van het pleistocene zand met de bandbreedte van de klassen 1 en 2 uit NEN 5140



↑ **Figuur 7** 90% betrouwbaarheidsinterval voor de wrijvingsweerstand met de bandbreedte van de klassen 1 en 2 uit NEN 5140



↑ **Figuur 8** 90% betrouwbaarheidsinterval voor het wrijvingsgetal

zijn ook de bandbreedten weergegeven die volgens NEN 5104 [1] zijn toegestaan voor een klasse 1 en een klasse 2 sondering.

Na analyse van de meetresultaten kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

1. Voor alle sonderingen valt voor het holocene pakket de gevonden spreiding in conusweerstand, wrijvingsweerstand en daarmee het wrijvingsgetal, overall binnen de bandbreedte van NEN 5104 voor een klasse 2 sondering.
2. De spreiding in de conusweerstand in het pleistocene zand valt ruim buiten de bandbreedte voor een klasse 2 sondering (zie 5).
3. In *figuur 8* is te zien dat de bandbreedte van het 90% betrouwbaarheidsinterval te groot is om op basis van het wrijvingsgetal onderscheid te maken tussen humeuze klei, of klei.
4. Uit de statistische analyse naar de veronderstelde oorzaken van de spreiding blijkt dat voor de humeuze klei- en de kleilagen de grondvariatie slechts zeer gering is. Deze geringe spreiding in verticale richting (binnen het diepte-interval van 1 m), evenals in horizontale richting, sluit aan bij de ervaring dat het holocene pakket op de onderzoekslocatie zeer homogeen is. De gevonden spreiding in het holocene pakket is bijna geheel toe te wijzen aan de herhaalbaarheid en het bedrijfseffect die elk van een gelijke orde van grootte zijn.
5. Voor het pleistocene zand blijkt dat de verti-

cale heterogeniteit van het zand een wat groter aandeel heeft in de grote spreiding in de conusweerstand. Dit sluit aan bij de ervaring dat het zand van de onderzoekslocatie een grote verticale spreiding in pakkingsdichtheid heeft. De rest van de spreiding in de conusweerstand is toe te wijzen aan de herhaalbaarheid en het bedrijfseffect die elk van een gelijke orde van grootte zijn.

6. De spreiding van het berekende wrijvingsgetal is groter dan die van de direct gemeten conusweerstand en wrijvingsweerstand. Dit is omdat de spreiding van het wrijvingsgetal wordt veroorzaakt door de spreiding van zowel de conusweerstand als de wrijvingsweerstand.

GEOTECHNISCHE ADVISERING OP BASIS VAN DE SONDERINGEN VAN HET RINGONDERZOEK

In de Nederlandse adviespraktijk worden voor projecten in de Geotechnische Categorie 2 en 3 vaak sonderingen gevraagd van minimaal klasse 2. De spreiding van de meetwaarden van alle voor het ringonderzoek uitgevoerde sonderingen vallen in het holocene pakket binnen de bandbreedte van deze klasse. Wat is het effect van de gevonden spreiding bij de verdere advisering? Om dit te onderzoeken is dit voor drie verschillende soorten van geotechnische advisering nader onderzocht.

Korrelgrootte van de zandlagen

In de praktijk wordt op basis van het wrijvingsgetal vaak een schatting gedaan van de korrelgrootte van het zand. In principe geldt bij een wrijvingsgetal lager dan 1 à 1,5% dat er sprake is van zand- of grindlagen. Hierbij geldt hoe lager het wrijvingsgetal, des te grover het materiaal. Gezien de grote spreiding van het wrijvingsgetal in het pleistocene zand, leidt de bovengenoemde regel tot een even grote spreiding in de geschatte grofheid van het zand, variërend van matig grof tot zeer fijn. Zonder aanvullende informatie over het zand is daarom geen uitspraak te doen over de korrelgrootte.

Zettingsprognose

De zettingsberekeningen zijn uitgevoerd voor drie bodemprofielen waarbij naast het boorprofiel de twee meest extreme sonderingen (gele en paarse doorgetrokken lijnen) zijn meegenomen. De classificatie van de grondsoorten op basis van het wrijvingsgetal (R_f) is gepresenteerd in *tabel 1*. Hierbij is aangehouden: $R_f \leq 1\%$ is zand, $1\% < R_f < 5\%$ is klei en $R_f \geq 5\%$ is veen. De benodigde parameters voor de berekeningen zijn verkregen uit *tabel 1* van NEN 6740. In *tabel 2* zijn de berekende zettingen per bodemprofiel gegeven.

De berekende zetting bij gebruik van de twee meest extreme sonderingen is een factor 2 hoger dan wel lager dan de zetting die is berekend op basis van de boring.

Bodemprofiel	Zetting (m)
Sondering 'geel'	2,42
Sondering 'paars'	0,56
Boring	1,02

↑ **Tabel 2** Berekende zettingen

Er kan een discussie worden gevoerd of het terecht is om de extreme sondering 'geel' mee te nemen in de berekeningen. Zoals eerder aangevoerd vallen alle sonderingen binnen de bandbreedte van klasse 2 in NEN 5104. Aangezien alle sonderingen onderling verschillen, is er geen sondering aan te wijzen die de juiste meetwaarden geeft. Er kan een gemiddelde worden vastgesteld van alle sonderingen, maar dat wil niet zeggen dat de sondering die het dichtst bij het gemiddelde valt, ook de juiste is. De gebruiker van de sondering kan tenslotte elk van de elf uitgevoerde sonderingen treffen. De extreme sondering 'geel' is om deze reden toch meegenomen in de berekeningen.

Paal draagvermogen

In totaal is voor alle 33 sonderingen het draagvermogen van op druk belaste prefab palen 290 mm uitgerekend op een niveau van NAP – 17 à –19 m. De spreiding in conusweerstand in het zand van ongeveer een factor 4 convergeert tot ongeveer een factor 2 in berekend paal draagvermogen. Dit komt overeen met de praktijkervaring in Almere dat de benodigde paallengten over kleine afstand aanzienlijk kunnen variëren.

CONCLUSIES VAN HET ONDERZOEK

Op basis van het ringonderzoek met de statistische analyse en toepassing van de sonderingen in de advisering, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Alle uitgevoerde sonderingen in het holocene pakket vallen voor zowel de conusweerstand als de plaatselijke mantelwrijving ruim binnen de bandbreedte gesteld in NEN 5104 aan een klasse 2 sondering.
2. Voor het holocene pakket is de gevonden spreiding in de gemeten conus- en wrijvingsweerstand aanzienlijk. Als gevolg hiervan is de spreiding in het berekende wrijvingsgetal ook groot. De heterogeniteit van de ondergrond is één van de oorzaken van de spreiding en blijkt voor de gekozen onderzoekslocatie gering te zijn. Het grootste gedeelte van de spreiding wordt veroorzaakt door het bedrijfseffect en de herhaalbaarheid, die van gelijke orde van grootte zijn.
3. Bepaling van de korrelgrootte van zand op basis van alleen sonderingen zonder aanvullende informatie is niet mogelijk.
4. Het classificeren van grondsoorten op basis van alleen sonderingen zonder aanvullende informatie is onverantwoord.

Op basis van de conclusies is aangetoond dat het gebruik van sonderingen zonder aanvullende informatie kan leiden tot verkeerde aannamen voor de grondopbouw. Dit heeft verkeerde berekeningen of correlaties tot gevolg met als resultaat een grote spreiding in de eindresultaten.

AANBEVELINGEN VOOR DE ADVISERING

Deskundige inkoop van grondonderzoek

In een project dient bij elk geotechnisch probleem vóór het opstellen van de offerteaanvraag van het grondonderzoek allereerst te worden vastgesteld welk soort grondonderzoek daadwerkelijk benodigd is. Als basis dient een geotechnisch – bij voorkeur risico gestuurd – onderzoeksplan te worden opgesteld. In het

onderzoeksplan dient afhankelijk van het te bouwen object naast de uit te voeren sonderingen ook ander grondonderzoek te zijn opgenomen.

Voor een betrouwbare classificatie van de ondergrond dient altijd aanvullend onderzoek te worden verricht, bijvoorbeeld door het uitvoeren van een boring. Op deze manier kunnen de voor deze locatie 'geijkte' sonderingen worden gebruikt om de ruimtelijke spreiding van de correct geclassificeerde lagen in kaart te brengen. Zie voor meer informatie over het classificeren door middel van sonderingen [2]. De nauwkeurigheid van advieswerk kan nog verder worden vergroot door de gerichte inzet van specialistisch grondonderzoek en laboratoriumonderzoek.

Deskundige inkoop van sondeerwerk

Afhankelijk van de probleemstelling kan een benodigde sondeerklasse worden gekozen. Ook kan de conus worden aangepast aan het doel van de sondering: de grote spreiding in meetwaarden in de slappe lagen is deels terug te voeren naar het meten met standaard conussen met een groot meetbereik. Bij sonderingen in het holocene pakket kan eventueel een meer gevoelige conus worden ingezet. Voor de bepaling van paal draagvermogens in het diepe zand kan deze conus worden begrensd, of kan een standaard conus worden ingezet. De nieuwe Europese sondeernorm houdt hier al rekening mee door de sondering in te delen in toepassingsklassen, zie ook [3]. Bij een deskundige inkoop van sondeerwerk hoort vervolgens nog een uitvoeringscontrole of aan alle gevraagde specificaties is voldaan. Denk hierbij onder andere aan verplaatsingen van locaties, sondeersnelheden, slijtage van de conus of controle van de gevraagde sondeerklasse.

Vervolgonderzoek

Met het inventariseren van de spreiding in meetwaarden, een globale opdeling in oorzaken hiervan en het aangeven van enkele consequenties voor de advisering is aan de doelstelling van CUR-commissie C140 voldaan en is de commissie opgeheven. Binnen de totale spreiding in meetwaarden lijkt het bedrijfseffect in de toekomst verder te kunnen worden gereduceerd. Dit zal in een nieuw op te richten CUR-commissie nader worden onderzocht. Het uiteindelijke doel is om de spreiding in meetwaarden van de sondering te verkleinen.

TOT SLOT:

Sonderingen zijn een goede en relatief goedkope manier om snel informatie over de ondergrond te verzamelen. De conclusies uit het ringonderzoek geven aan dat de beperkingen van de sondering daarbij niet uit het oog mogen worden verloren.

Namens CUR-commissie C140 wordt de stichting Flevo-landschap bedankt voor het beschikbaar stellen van de onderzoekslocatie.

LITERATUUR

- [1] NEN 5140, Geotechniek - Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand van grond - Elektrische sondeermethode
- [2] Staveren, M.Th. van and J.K. van Deen, 'The need for cone penetration test accuracy classes'. 8th International IABG Congress: 1998
- [3] Alboom, G. van, W.A. Nohl en L. Tiggelman, 'Uitvoering en toepassing sonderingen in Europa op één lijn'. Geotechniek 1:2005